

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ігоря СІКОРСЬКОГО»

**ДЕТАЛІ ТА ВУЗЛИ ПРИЛАДІВ**  
**РОЗДІЛ «ОПІР МАТЕРІАЛІВ, ЧАСТИНА 2»**

Методичні вказівки  
до практичних занять  
для студентів приладобудівного факультету напрямку підготовки 6.051003  
«Приладобудування»

*Рекомендовано вченою радою  
приладобудівного факультету  
(протокол №11/16 від 26.12.2016 р.)*

Київ - 2016

**Деталі та вузли приладів. Розділ «Опір матеріалів, частина 2»:** методичні вказівки до практичних занять для студентів приладобудівного факультету напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування», денної форми навчання [Електронний ресурс] / Уклад.: Ж.О. Павленко, Г.А.Богдан. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 22 с.

Навчальне електронне мережне видання

**ДЕТАЛІ ТА ВУЗЛИ ПРИЛАДІВ  
РОЗДІЛ «ОПІР МАТЕРІАЛІВ, ЧАСТИНА 2»**

Методичні вказівки  
до практичних занять  
для студентів приладобудівного факультету напряму підготовки 6.051003  
«Приладобудування»

Укладачі: *Жанна Онисимівна Павленко., ст. викладач  
Богдан Галина Анатоліївна, асистент*

Відповідальний редактор: *Протасов А.Г., д.п.н., к.т.н., доцент*

Рецензент: *Клочко Т.Р., к.т.н.*

*За редакцією укладачів*

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
Структура методичних вказівок .....	4
Вимоги до оформлення самостійно виконаних завдань .....	5
1. Деформація згину .....	5
1.1 Основні співвідношення. Розрахункові формули.....	5
1.2 Приклад 1 виконання Завдання.....	8
1.3 Приклад 2 виконання Завдання .....	11
1.4. Завдання .....	17
1.5 Варіанти схем для виконання Завдання №1 .....	18
1.6 Варіанти чисельних даних для виконання Завдання № 1 .....	19
2. ЛІТЕРАТУРА .....	20
ДОДАТОК.....	21

## ВСТУП

Наведені методичні вказівки є посібником до практичних занять з розділу «Опір матеріалів» (Частина 2) дисципліни «Деталі та вузли приладів». Він охоплює тему «Згин» і призначений для користування студентами під час проведення практичних занять та поваріантного виконання самостійних завдань. Крім коротких теоретичних відомостей і основних формул по кожній темі Методичні вказівки містять приклади виконання задач з детальними поясненнями та варіанти схем і чисельні дані по кожному розділу.

### Структура методичних вказівок

Методичні вказівки охоплюють лише один вид деформації – згин, але при різних схемах навантаження деталей. В кожній задачі є умови: набір рисунків (0, 1, 2.....) та таблиці з варіантами вихідних даних. Нумери варіантів (1, 2, 3, 4,.....0) наведено у першому стовбчику кожної таблиці. Для кожної задачі студент за своїм двозначним номером варіанта обирає номер рисунка (перша цифра) та номер рядка для вихідних даних відповідної таблиці (друга цифра в варіанті). Наприклад для завдання вар. № 08 для кожної задачі обирається рисунок під номером «0», а вихідні дані - за рядком 8 відповідної таблиці.

**Примітка.** Якщо у таблиці вихідних даних будь-яке навантаження (сила чи момент) має від'ємний знак, то на малюнку для розв'язання треба змінити напрям цього навантаження на протилежний і надалі знак «-» до уваги не брати. Якщо у таблиці один з параметрів дорівнює нулю, то на схемі конкретного варіанта цей параметр відсутній, не зважаючи на те, що на рисунку в методичних вказівках він наявний.

## Вимоги до оформлення самостійно виконаних завдань

1. Робота оформлюється на аркушах формату А4
2. Умови задач записуються повним текстом.
3. Виконання кожної задачі починають з нової сторінки.
4. Розв'язання задач повинно, крім формул, супроводжуватись текстовими поясненнями; при наявності одиниць виміру у відповідях їх необхідно обов'язково вказувати. Всі записи повинні бути розбірливими та охайними. За бажанням текст можна набирати шрифтом 14.
5. Всі схеми та епюри виконуються в масштабі.
6. Виконані завдання здаються на перевірку у термін, визначений календарним планом, і оцінюється згідно відповідних рейтингових балів. (див. Додаток ).

### 1. Деформація згину

#### 1.1 Основні співвідношення. Розрахункові формули

Брус, що працює на згин, називається балкою. Появу деформації згину в деталі викликають поперечні сили – зосереджені та розподілені, що перпендикулярні до поздовжньої осі і моменти, що діють в площині балки. Якщо балка зазнає поперечного згину, то в її поперечних перерізах виникають два внутрішніх силових фактори — згинаючий момент  $M_{зг}$  і поперечна сила  $Q_i$ .

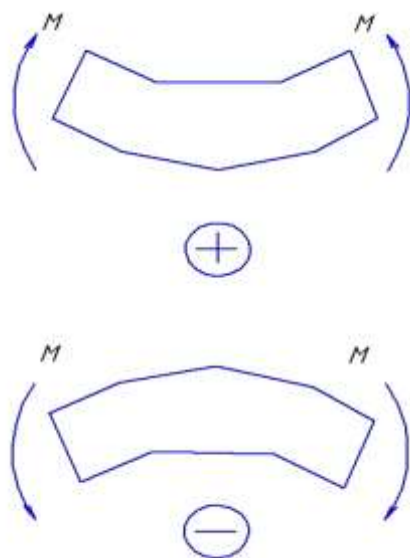
Поперечна сила  $Q_i$  в будь-якому перерізі балки дорівнює алгебраїчній сумі всіх вертикальних складових зовнішніх сил, що діють з одного боку від обраного перерізу. При визначенні поперечної сили зовнішні сили, що знаходяться ліворуч від перерізу, вважаються додатними, якщо вони напрямлені вгору, і від'ємними, якщо вони напрямлені вниз. При визначенні поперечної сили для частини балки, яка знаходиться праворуч від перерізу, сума проєкцій усіх сил, що

діють на цю частину балки, береться з протилежним знаком.

Згинаючий момент у будь-якому поперечному перерізі дорівнює алгебраїчній сумі моментів усіх зовнішніх сил, що знаходяться по один бік від перерізу відносно його центра ваги.

При визначенні згинаючого моменту моменти зовнішніх сил, які знаходяться ліворуч від перерізу, приймаються додатними, якщо вони діють за годинниковою стрілкою, і від'ємними, якщо вони діють проти годинникової стрілки. При розгляданні правої частини балки, знаки змінюються на протилежні.

При побудові епюр згинаючих моментів користуються таким правилом знаків. Знак згинаючого моменту — додатний, якщо під дією цього моменту балка згинається опуклістю вниз, і від'ємний, якщо під дією цього момента балка згинається опуклістю вгору. /рис.1.1/.



Епюри поперечних сил і згинаючих моментів — це графічне зображення розподілу  $Q$  та  $M_{зг}$  по поздовжній осі балки.

Знаки поперечних сил визначаються за такими співвідношеннями, що мають місце між  $M_{згi}$ ,  $Q_i$  та  $q$  (інтенсивністю розподіленого навантаження):

Рис.1.1 Визначення знаку згинаючого моменту

$$\frac{dM}{dx} = Q, \quad /1.1/$$

$$\frac{d^2M}{dx^2} = q, \quad /1.2/$$

З цих співвідношень виходить, що:

1. на ділянках зростання  $M_{згi}$ , поперечна сила  $Q_i$  додатна, на ділянках зменшення  $M_{згi}$ , поперечна сила  $Q_i$  - від'ємна;
2. у перетинах, де еюра  $Q_i$  переходить через нуль, змінюючи знак,  $M_{зг}$  має максимум або мінімум;
3. на ділянках балки з рівномірно розподіленим навантаженням еюра  $M_{згi}$ , зображається квадратичною параболою, яка опуклістю спрямована назустріч навантаженню;
4. на ділянках, де немає розподіленого навантаження, еюра  $M_{згi}$ , зображається прямою похилою лінією, що нахилена відносно поздовжньої осі балки.

Для визначення розмірів постійного поперечного перерізу кожної з ділянок балки користуються умовою міцності при прямому згині

$$\sigma = \frac{|M_{зг\max}|}{W_{зг}} \leq [\sigma]_{зг}, \quad /1.3/$$

де  $M_{зг\max}$  — максимальне значення згинаючого моменту, визначається за епюрою  $M_{зг}$  відносно координати  $x$  (у небезпечному перерізі);  $W_{зг}$  — осьовий момент опору балки постійного перерізу;  $[\sigma]_{зг}$  — допустиме напруження згину для матеріалу, з якого виготовлена балка.

Для балки круглого перерізу

$$W_{зг} = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad /3.4/$$

Для балки прямокутного перерізу

$$W_{32} = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad /1.5/$$

З урахуванням /1.3/ та /1.4/ діаметр балки круглого перерізу

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 |M_{32 \max}|}{\pi \cdot [\sigma]_{32}}}, \quad /1.6/$$

З урахуванням /1.3/ та /1.5/ висота балки прямокутного перерізу

$$h \geq \sqrt{\frac{6 |M_{32 \max}|}{b [\sigma]_{32}}}, \quad /1.7/$$

## 1.2 Приклад 1 виконання Завдання

Визначити діаметр постійного поперечного перерізу консольної балки /рис.1.2/, попередньо визначивши внутрішні силові фактори Q та  $M_{32}$ , побудувати їх епюри, якщо задано:  $[\sigma]_{32} = 100$  МПа;  $q = 20$  кН/м;  $F = 1$  кН;  $m = 0,5$ кН·м;  $a = 0,1$ м;  $b = 0,2$ м

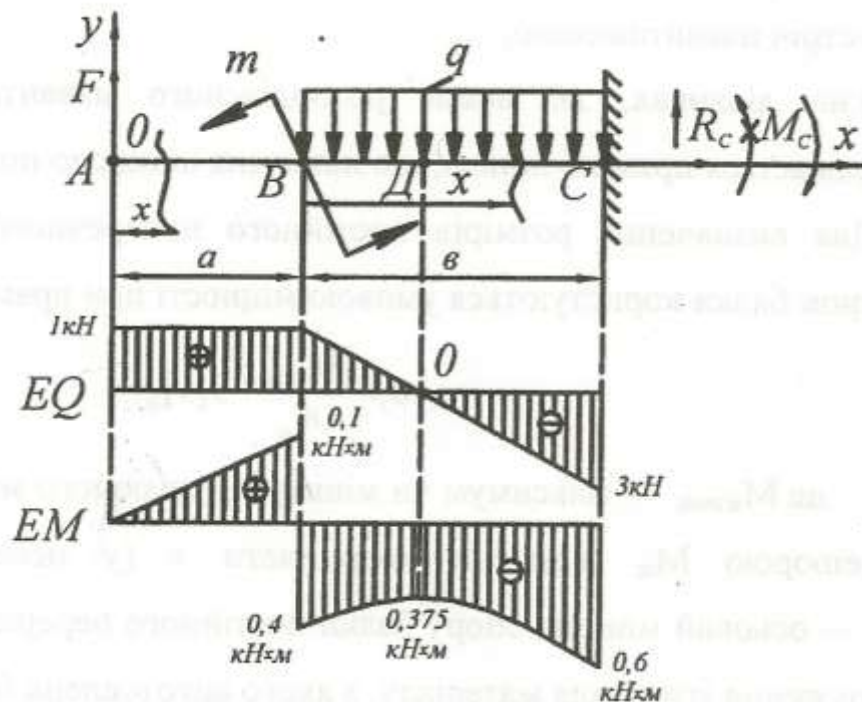




Рис.1.2

Побудова епюр для прикладу I виконання Завдання

Розв'язання

**1. Визначаємо реакції опор: силу реакції  $R_c$  та реактивний момент  $M_c$** , попередньо довільно спрямувавши їх. Складаємо рівняння рівноваги:

а) для сил:  $\sum P_{y_i} = 0$ ;  $F - qb + R_c = 0$ .

Звідси  $R_c = -F + q \cdot b = -1 + 20 \cdot 0,2 = 3$  (кН)

б) для моментів відносно т.С:  $\sum M_{i_c} = 0$ ;  $-F(a + b) + m + qb^2/2 + M_c = 0$ .

Звідси  $M_c = F(a + b) - m - qb^2/2 = 1(0,1 + 0,2) - 0,5 - 20 \cdot 0,2^2/2 = -0,6$  кНм

Через те, що  $M_c$  має знак “-”, змінюємо його напрям на схемі на протилежний.

**2. Перевіряємо правильність визначення реакцій опор**, записавши рівняння моментів відносно т.А:

$$\sum M_A = 0; m - q \cdot b \cdot (a + 0,5b) + R_c \cdot (a + b) - M_c =$$

$$= 0,5 - 20 \cdot 0,2 \cdot (0,1 + 0,5 \cdot 0,2) - 3(0,1 + 0,2) - 0,6 = 0 \quad \text{Реакції}$$

опор знайдено правильно.

Бачимо, що ця балка має дві характерні ділянки: АВ та ВС.

**3. Визначення поперечних сил та побудова епюри  $Q_i$**

Складаємо рівняння рівноваги поперечних сил та згинаючих моментів для ділянки АВ. Початок координат суміщено з лівим геометричним кінцем балки:  $Q_I = F = 1$ кН,  $0 \leq x \leq a$ .

На цій ділянці  $Q_i$  не залежить від  $x$ . Будуємо епюру  $Q_I$ .

Складаємо рівняння рівноваги поперечних сил для ділянки ВС.

“0” координати  $x$  перенесено в початок цієї ділянки:

$$Q_{II} = F - qx, \quad 0 \leq x \leq b \quad /1.8/$$

Будуємо епюру  $Q_{II}$  у вигляді похилої прямої (згідно виду рівняння)

$$Q_{II\ x=0} = F = 1\text{кН}, \quad Q_{II\ x=b} = F - qb = 1 - 20 \cdot 0,2 = - 3\text{кН}.$$

У разі правильної побудови епюри  $Q$  в кінцевому перерізі балки поперечна сила дорівнює реакції опори, але має протилежний знак:

$$Q_{II\ x=d\backslash b} = - R_c$$

На епюрі поперечних сил є точка  $D$ , де  $Q = 0$  і змінює свій знак на протилежний, перетинаючи нейтральну вісь. Згідно залежностей /1.1/ і /1.2/ в т. перетину має бути максимальне значення згинаючого момента.

Використовуючи рівняння /1.8/, визначимо координату  $x$  для точки  $D$ :

$$Q_{II\ D} = F - qx = 0,$$

Звідки

$$x = \frac{F}{q} = \frac{1}{20} = 0,05\text{м}.$$

$$M_{I\ x=0} = 0; \quad M_{I\ x=a} = Fa = 1 \cdot 0,1 = 0,1\text{кН}\cdot\text{м}.$$

#### 4. Визначення згинаючих моментів, побудова епюри $M_{зг}$

Складаємо рівняння рівноваги моментів для ділянки  $AB$ :

$$M_I = F \cdot x, \quad 0 \leq x \leq a;$$

$$M_{I\ x=0} = 0; \quad M_{I\ x=a} = Fa = 1 \cdot 0,1 = 0,1\text{кН}\cdot\text{м}.$$

Складаємо рівняння рівноваги моментів для ділянки  $BC$ :

$$M_{II} = F \cdot (a + x) - m - qx^2/2, \quad 0 \leq x \leq b \quad /1.9/$$

$$M_{II\ x=0} = Fa - m = 1 \cdot 0,1 - 0,5 = - 0,4\text{кН}\cdot\text{м}$$

Через те, що в т.  $B$  діє зовнішній момент  $m$ , на епюрі згинаючих моментів в цій точці буде стрибок, що дорівнює цьому зовнішньому моменту:

$$M_{x=b} = F(a + b) - m - qb^2/2 = 1(0,1 + 0,2) - 0,5 - 20 \cdot 0,2^2/2 = - 0,6\text{кН}\cdot\text{м}$$

На ділянці  $BC$  діє рівномірно розподілене навантаження, тому на цій ділянці епюра згинаючих моментів є парабола з опуклістю, що напрямлена

назустріч розподіленому навантаженню.

За /1.9/ визначимо згинаючий момент у точці D, де  $x = 0,05$  м:

$$M_D = 1(0,1 + 0,05) - 0,5 - 20 \cdot 0,05^2/2 = - 0,375 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

У зв'язку з тим, що в кінцевому перерізі балки /т.С/ діє реактивний момент, в цій точці згинаючий момент повинен дорівнювати (з умови рівноваги) реактивному моменту, але з протилежним знаком:

$$M_{\Pi \text{ } x=b} = - M_c.$$

### 5. Визначення розмірів поперечного перерізу балки

Із побудованої епюри згинаючих моментів видно, що небезпечний переріз балки буде в точці С, через те, що згинаючий момент тут має максимальне за модулем значення:

$$|M_{зг}|_c = 0,6 \text{ кН}\cdot\text{м} = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Скористаємося рівнянням /3.6/ і визначимо діаметр балки для небезпечного перерізу:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{зг \max}}{\pi \cdot [\sigma_{зг}]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 0,6 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 100}} = 39,3 \text{ мм}.$$

Приймаємо згідно стандарту ГОСТ 6636-90  $d = 40$  мм.

### 1.3 Приклад 2 виконання Завдання

З умови міцності за нормальними напруженнями згину, визначити діаметр постійного перерізу балки (див. рис.1.3 ) попередньо визначивши значення поперечних сил Q та згинаючих моментів Mзг та побудувавши їх епюри , якщо  $F_1 = 1$  кН;  $F_2 = 2$  кН;  $q_1 = 4$  кН/м;  $q_2 = 6$  кН/м;  $M = 1$  кН-м;

$$a = 0,6 \text{ м}; b = 1 \text{ м}; c = 0,4 \text{ м}; [\sigma_u] = 80 \text{ Мпа}.$$

#### Розв'язання

#### 1. Визначення реакцій в опорах.

Довільно спрямуємо реакції в опорах А та В.

Складемо рівняння рівноваги:

$$\Sigma M_B(\bar{F}_i) = F_1(a+b) - q_1 \cdot a \left(\frac{a}{2} + b\right) + R_a \cdot b + M + F_2 \cdot c - q_2 \cdot \frac{c^2}{2} = 0$$

$$R_a = \frac{-F_2(a+b) + q_1 \cdot a \left(\frac{a}{2} + b\right) - M - F_2 \cdot c + q_2 \cdot \frac{c^2}{2}}{b} =$$

$$= \frac{-1 \cdot 1,6 + 4 \cdot 0,6 \cdot 1,3 - 1 - 2 \cdot 0,4 + 6 \cdot \frac{0,16}{2}}{1} = 0,2 \text{кН}$$

Знак “+” при  $R_A$  вказує на те, що напрям цієї реакції попередньо був обраний правильно.

$$\Sigma M_A(\bar{F}_i) = F_2(b+c) - q_2 \cdot c \left(\frac{c}{2} + b\right) - R_b \cdot b + M - q_1 \cdot \frac{a^2}{2} + F_1 \cdot a = 0$$

$$R_b = \frac{F_2(b+c) + q_2 \cdot c \left(\frac{c}{2} + b\right) + M - q_1 \cdot \frac{a^2}{2} - F_1 \cdot a}{b} =$$

$$= \frac{2 \cdot 1,4 - 6 \cdot 0,4 \cdot 1,2 + 1 - 4 \cdot \frac{0,36}{2} + 1 \cdot 0,6}{1} = 0,8 \text{кН}$$

Перевірка правильності визначення реакції в опорах:

$$\Sigma P_{Yi} = 0;$$

$$\Sigma P_{Yi} = F_1 - q_1 \cdot a + R_A + R_b + q_2 \cdot c - F_2 = 1 - 4 \cdot 0,6 + 0,2 + 0,8 + 6 \cdot 0,4 - 2 = 0.$$

Таким чином, реакції визначені вірно.

## 2. Визначення поперечних сил $Q_i$

Для визначення  $Q_i$  розбиваємо балку на ділянки. Кожній ділянці відповідає свій закон зміни  $Q_i$  (межами ділянок є точки прикладення зосереджених сил, а також початок і кінець розподіленого навантаження). Розглянута балка має три ділянки.

Ділянка 1 (розглядаємо балку зліва направо).

Суміщаємо початок відліку «0» для  $x$  з крайньою лівою точкою ділянки і

для будь-якого перерізу запишемо рівняння для  $Q_1$ .

$$Q_1 = F_1 - q_1 \cdot x; \quad 0 \leq x \leq a,$$

При  $x = 0$ ,  $Q_1 = F_1 = 1$  кН; При  $x = a$ ;  $Q_1 = F_1 - q_1 \cdot a = 1 - 4 \cdot 0,6 = -1,4$  кН.

Будуємо епюру  $Q_1$  згідно рівняння у виді похилої прямої (рис.1.3).

На першій ділянці епюра  $Q$  проходить через нуль. Цій точці ділянки відповідає максимальне значення згинаючого моменту (згідно залежностей /1.1/ і /1.2/) . Знайдемо координату точки ( $x_{01}$ ), де  $Q_1 = 0$  таким чином  $F_1 - q_1 \cdot x_{01} = 0$

$$x_{01} = F_1 / q_1 = 1/4 = 0,25 \text{ м.}$$

Ділянка 2 (розглядаємо балку зліва направо).

Початок відліку для  $x$  суміщаємо з крайньою лівою точкою ділянки та для довільного перерізу запишемо рівняння  $Q_{II}$ .

$$Q_{II} = F_1 - q_1 \cdot a + R_A \quad Q_{II} = 1 - 4 \cdot 0,6 + 0,2 = 1,2 \text{ к Н.}$$

На другій ділянці  $Q$  не залежить від  $x$ ; таким чином на цій ділянці епюра  $Q$  окреслена прямою лінією паралельною осі  $x$ . Будуємо епюру  $Q_{II}$  (рис. 1.3).

Ділянка 3 (балка розглядається зправа наліво, : тобто  $x = 0$  суміщена з правим кінцем балки; згідно правила, знаки сил змінюються на протилежні).

Початок відліку  $x$  суміщено з крайньою правою точкою ділянки тому для довільного перерізу запишемо рівняння для  $Q_{III}$ .

$$Q_{III} = F_2 - q_2 \cdot x, \quad 0 \leq x \leq c,$$

При  $x = 0$ ,  $Q_{III} = F_2 = 2$  кН; при  $x = c$ ,  $Q_{III} = F_2 - q_2 \cdot c = 2 - 6 \cdot 0,4 = 0,4$  кН.

На третій ділянці  $Q$  теж проходить через нуль. Цій точці на третій ділянці відповідає мінімальне значення згинаючого моменту (згідно залежностей /1.1/ і /1.2/) Знаходимо координату цієї точки.

При  $x = x_{03}$ ,  $Q_{III} = 0$ ; таким чином  $F_2 - q_2 \cdot x_{03} = 0$ .

$$x_{03} = F_2 / q_2 = 2/6 \approx 0,33 \text{ м.}$$

### 3. Визначення згинаючих моментів $M_{згі}$

Для визначення згинаючих моментів, балку розподіляємо на

ділянки. Межами ділянок є точки прикладення зосереджених сил, початок та кінець розподіленого навантаження, а також точки прикладення зосереджених моментів. В загальному випадку ділянки для  $Q$  та  $M_{зг}$  не збігаються. В розглянутому прикладі ділянки для  $Q$  і  $M_{зг}$  збігаються. Кожній ділянці відповідає свій закон зміни  $M_{зг}$

Ділянка 1 (розглядання балки зліва направо).

Суміщаємо початок відліку  $x$  з крайньою лівою точкою ділянки та для довільного перерізу запишемо рівняння згинаючого моменту.

$$M_{згI} = F_1 \cdot x - q_1 x^2 / 2, \quad 0 \leq x \leq a.$$

Згідно з рівнянням епюра  $M_{зг}$  на першій ділянці окреслена параболою, напрямленою опуклістю вгору. Для побудови епюри згинаючих моментів на першій ділянці знаходимо три значення згинаючих моментів: при  $x = 0$ ,  $M_{згI} = 0$ ; при  $x = a$ ,  $M_{згI} = F_1 \cdot a - q_1 \cdot a^2 / 2 =$   
 $= 1 \cdot 0,6 - 4 \cdot 0,36 / 2 = - 0,12 \text{ кН}\cdot\text{м}.$

При  $x = x_{0I}$ ,  $M_{згI} = M_{згmax} = F_1 \cdot x_{0I} - q_1 \cdot x_{0I}^2 / 2 = 1 \cdot 0,25 - 4 \cdot 0,0625 / 2 =$   
 $= 0,125 \text{ кН}\cdot\text{м}.$

Будуємо епюру  $M_{згI}$  на першій ділянці (рис.1.3).

Примітка Якщо на будь-якій ділянці епюра  $M_{зг}$  окреслена кривою лінією та епюра  $Q$  для цієї ділянки не проходить через нуль, то третє значення  $M_{зг}$  визначаємо при  $x$ , що дорівнює половині довжини розглянутої ділянки.

Ділянка 2 (розглядання балки зліва направо).

Суміщаємо початок відліку  $x$  з крайньою лівою точкою цієї ділянки та для довільного перерізу складаємо рівняння згинаючого моменту.

$$M_{згII} = F_1(a + x) - q_1 \cdot a \cdot (a/2 + x) + R_A \cdot x + M; \quad 0 \leq x \leq b$$

При  $x = 0$ ,  $M_{згII} = F_1 \cdot a - q_1 \cdot a^2 / 2 + M = 1 \cdot 0,6 - 4 \cdot 0,36 / 2 + 1 = 0,88 \text{ кН}\cdot\text{м};$

При  $x = b$ ,  $M_{згII} = F_1(a + b) - q_1 \cdot a \cdot (a/2 + b) + R_A \cdot b + M =$   
 $= 1 \cdot 1,6 - 4 \cdot 0,6 \cdot 1,3 + 0,2 \cdot 1 + 1 = - 0,32 \text{ кН}\cdot\text{м}.$

Будуємо епюру  $M_{згII}$  (рис.1.3).

Ділянка 3 (розглядання зправа наліво: т.  $x = 0$  суміщена з правим кінцем балки; знаки моментів змінюються на протилежні).

$$M_{зг\ III} = -F_2x + q_2 \cdot x^2/2 \quad 0 \leq x \leq c,$$

$$\text{При } x=0, M_{зг\ III}=0; \text{ при } x=c, M_{зг\ III} = -F_2c + q_2c^2/2 = -2 \cdot 0,4 + 6 \cdot 0,16/2 = -0,32 \text{ кН-м,}$$

$$\text{При } x=x_{03}, M_{зг\ III} = M_{зг\ max} = -F_2 \cdot x_{03} + q_2 \cdot x_{03}^2/2 = -2 \cdot 0,33 + 6 \cdot (0,33)^2/2 = -0,33 \text{ кН-м.}$$

Згідно з рівнянням згинаючого моменту епюра  $M_{зг\ III}$  окреслена кривою лінією, напрямленою опуклістю вниз. Будуємо епюру  $M_{зг\ III}$  (рис.1.3).

#### 4. Визначення діаметра поперечного перерізу балки

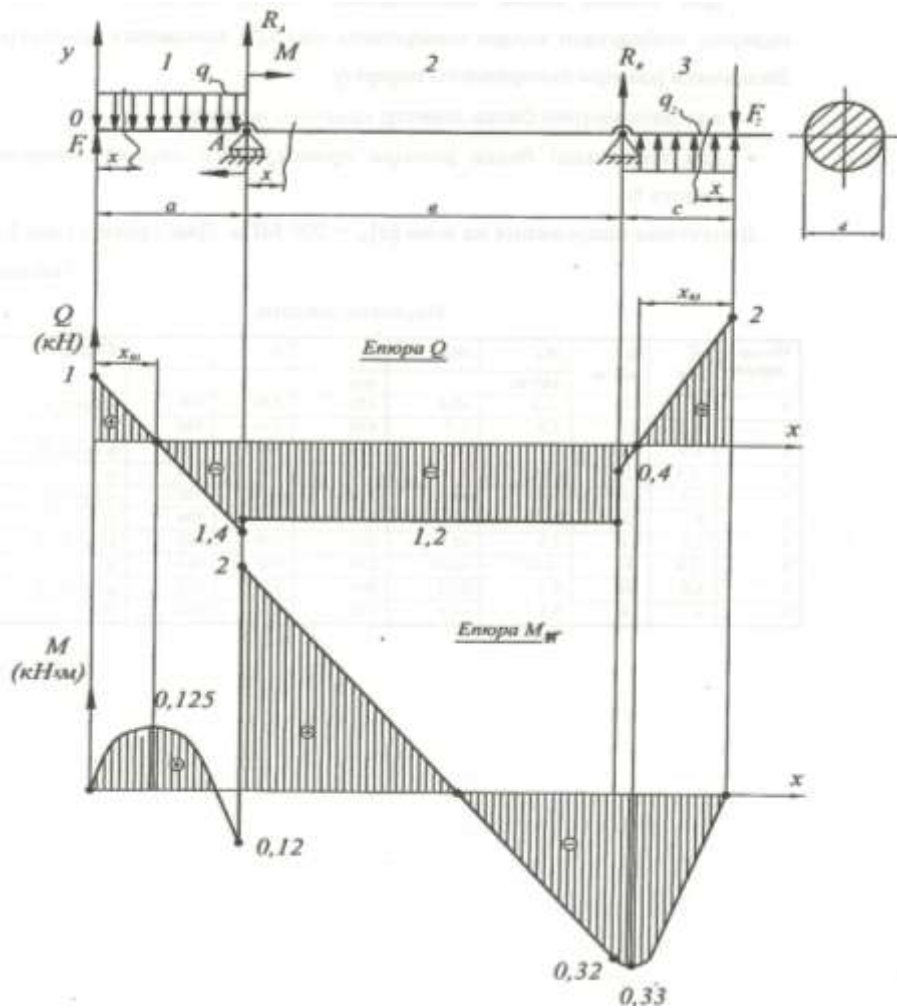


Рис.1.3

Побудова епюр поперечних та згинаючих моментів для прикладу II

Діаметр поперечного перерізу балки визначається з умови міцності по нормальних напругах згину  $\sigma_{зг}$ .

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{|M_{зг\max}|}{0,1[\sigma_{зг}]}} = \sqrt[3]{\frac{0,88 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 80}} \cong 48 \text{ мм}$$

$|M_{зг\max}|$  — найбільший за абсолютною величиною згинаючий момент.

Приймаємо за ГОСТ 6636-90 безпечний діаметр балки  $d = 48$  мм.



## 1.4. Завдання

Для заданої схеми конструкції та навантаження балки постійного поперечного перерізу:

1. Визначити внутрішні силові фактори – поперечні сили  $Q_i$  та згинаючі моменти.  $M_{z2i}$ , попередньо визначивши реакції опор.
2. Побудувати епюри поперечних сил  $Q_i$  та згинаючих моментів.  $M_{z2i}$
3. Визначити безпечні розміри поперечного перерізу: як правило для варіанту двохопорної балки – діаметр  $d$ ; для варіанту консольної балки – прямокутного перерізу з розмірами  $b$  x  $h$ . Для уточнення: див. умови власного варіанта.

**Примітка:** якщо в умовах варіанта силовий фактор має « $\rightarrow$ » перед чисельним значенням: до початку розв'язання задачі його напрям на власній схемі слід поміняти на протилежний. Прийняти допустиме напруження на згин для матеріала балки:  $[\sigma] = 200\text{Мпа}$ .

1.5. Варіанти схем для виконання Завдання №1 надані на стор. 20

1.6. Варіанти чисельних даних Завдання №1 надані в Табл.1 на стор. 21

### 1.5 Варіанти схем для виконання Завдання №1

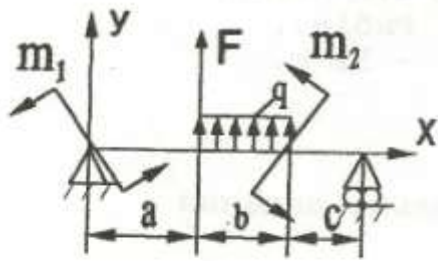


Рис. 0

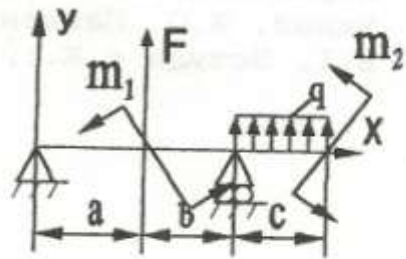


Рис. 1

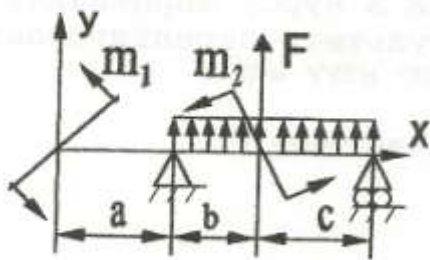


Рис. 2

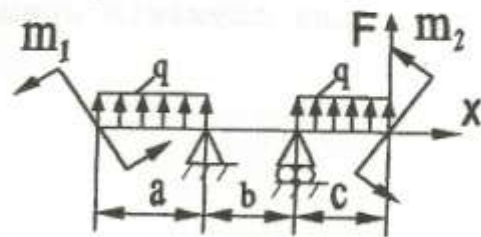


Рис. 3

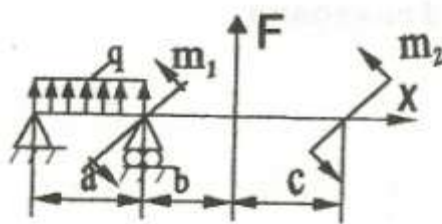


Рис. 4

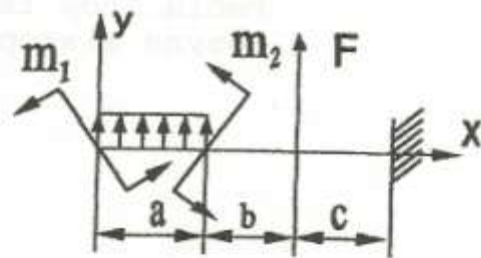


Рис. 5

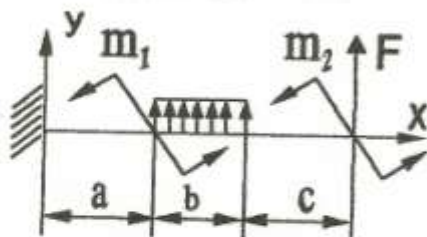


Рис. 6

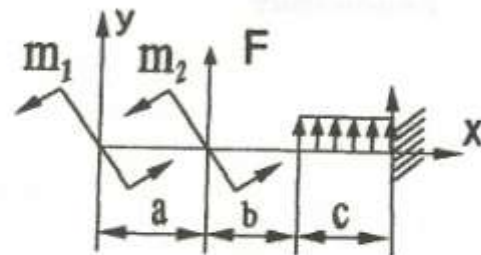


Рис. 7

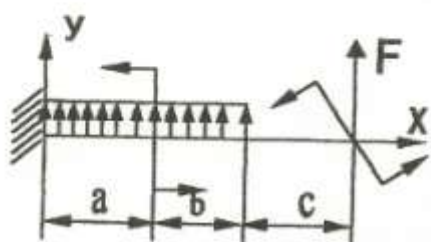


Рис. 8

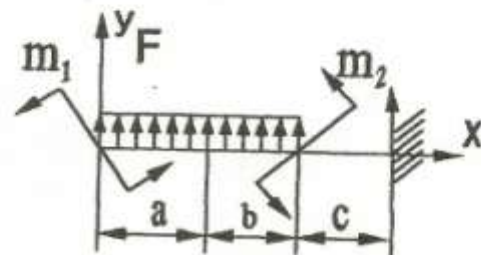


Рис. 9

Табл. 1

## 1.6 Варіанти чисельних даних для виконання Завдання № 1

Номер варіанта	F кН	q, кН/м	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	a	b	c	Переріз
			кН·м		мм			
1	3	12	-1,2	-0,4	150	220	300	b'/h=0,5
2	-2,5	17	1,5	0,7	170	210	350	d
3	4,5	-20	-1	-0,5	210	120	320	b'/h=0,75
4	-3,5	-22	-0,85	0,25	230	140	150	d
5	3,2	24	0,65	-0,32	250	160	180	b'/h=0,5
6	4	-26	-0,75	0,45	300	200	220	d
7	1,6	14	1,3	-0,5	320	190	160	b'/h=0,75
8	-2,8	-15	-1,25	-0,25	120	180	360	d
9	1,0	-16	0,7	0,35	100	170	220	b'/h=0,75
0	2	13	0,8	-0,3	150	150	260	d

## 2. ЛІТЕРАТУРА

1. Опір матеріалів. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Є.С. К.: Вища школа, 1993.-654с.
2. Сопротивление материалов. Беляев Н.М М., «Наука», 1995
3. Сопротивление материалов. Феодосьев В.И. М., «Наука», 1985

## ДОДАТОК

### Критерії оцінювання виконаних завдань

Завдання складається з однієї комплексної задачі:

дослідження на міцність деталі, що зазнає деформації згину; з попереднім визначенням реакцій опор.

Максимальна кількість балів за одну роботу – 22.

$$22 \times 1 = 22$$

Критерії оцінювання виконаного завдання:

20 -22 балів – завдання виконане в повному обсязі, його супроводжено виконаними згідно стандартних вимог схемами (рисуноками), надано *максимально* необхідна кількість текстових пояснень. Робота виконана без жодних помилок, не потребує доробок і надана на перевірку в зазначений термін. («відмінно» - не менше 90 % потрібної інформації).

16–19 балів - робота виконана в повному обсязі, її супроводжено виконаними згідно стандартних вимог схемами (рисуноками), надано *необхідну* кількість текстових пояснень. Робота надана на перевірку в зазначений термін, але під час перевірки виявлено незначні помилки, що потребують невеликої доробки. («добре» - не менше 75 % потрібної інформації).

12 – 15 балів - робота виконана в повному обсязі, її супроводжено виконаними згідно стандартних вимог схемами (рисуноками), надано *певну* кількість текстових пояснень; але під час перевірки виявлено помилки, що потребують доробок і виправлень. При цьому робота надана на перевірку в зазначений термін. («задовільно» - не менше 60 % потрібної інформації).

5- 11 балів – робота виконана в повному обсязі, але має суттєві помилки і недостатню кількість пояснень; потребує значних виправлень і доробок. («незадовільно» - менше 60 % потрібної інформації).

0 – 4 балів - робота виконана не в повному обсязі, має помилки і недостатню кількість пояснень; потребує значних виправлень і доробок. При

цьому не надана на перевірку в зазначений термін. («незадовільно» - менше 60 % потрібної інформації).

**Виконана робота зараховується, якщо кількість отриманих балів складе  $\geq 60\%$  від максимальної кількості балів, тобто 13 балів.**